

Acque saline e qualità del suolo

Carmelo Dazzi*

*Dipartimento di Agronomia Ambientale e Territoriale – Settore Pedologia, Università di Palermo
Viale delle Scienze, 90128 Palermo*

Società Italiana della Scienza del Suolo

Riassunto

Fra le emergenze ambientali legate alla qualità dei suoli, assumono un rilievo particolare, per via della loro pericolosità, i processi di salinizzazione secondaria indotti dall'attività antropica. Particolarmente soggetti sono i suoli dei Paesi che si affacciano sul bacino del Mediterraneo, in particolare laddove il clima è tendenzialmente caldo-arido. In questi ambienti, infatti, il ricorso all'irrigazione che consente di ridurre i rischi legati ai deficit di umidità e di stabilizzare le produzioni, è un fatto imperativo. Spesso, si ricorre ad acque saline che causano un decadimento della qualità dei suoli. Se per un verso la presenza di sali può avere effetti desiderabili determinando soprattutto strutturalità dei suoli, oltre certi livelli di salinità, si producono una serie di conseguenze negative che si ripercuotono soprattutto sulla possibilità di vita per le colture. Quando a determinare salinità è prevalentemente il sodio, sorgono problemi legati principalmente alla possibile degradazione della struttura, alla riduzione della conducibilità idraulica e alla formazione di croste superficiali, elementi tutti che conducono ad una diminuzione della qualità dei suoli. I processi di salinizzazione secondaria dei suoli determinati dall'irrigazione con acque saline, sono evidenti anche nel nostro Paese, ove suoli salini, risultano prevalentemente distribuiti nella bassa padana, in lunghi tratti del litorale tirrenico e adriatico, nella fascia costiera della Puglia, della Basilicata e della Sardegna e in ampi tratti della Sicilia. È ovvio che non sono possibili generalizzazioni poiché gli effetti dell'irrigazione con acque saline sulla qualità dei suoli vanno visti caso per caso, considerando non solo la notevole variabilità che l'universo pedologico fa naturalmente registrare ma, anche il fatto che nelle relazioni acqua-suolo interagiscono due diverse espressioni di qualità che si influenzano a vicenda: quella relativa alle acque e quella relativa ai suoli.

Parole chiave: qualità del suolo, acque saline, relazioni acqua-suolo.

Summary

SALINE WATERS AND SOIL QUALITY

The processes of secondary salinization due to anthropic actions are considered one of the most important environmental emergencies owing to their level of dangerousness. The soils of the dry areas of the Mediterranean basin are particularly prone to these processes. In such environments, it is imperative to resort to irrigation that allow for the reduction of risks due to soil moisture deficit and for the stabilization of yields. Frequently, saline waters are used that cause a lowering of the soil quality. If on one hand the presence of salts can benefit the soils mainly improving soil structure, on the other high levels of salts produce negative effects on soils and crops. When sodium prevails problems of soil quality can rise such as structure degradation, low hydraulic conductivity, soil sealing. The processes of secondary soil salinization due to the use of saline waters for irrigation are particularly evident in our Country among others. In Italy, saline soils are mainly distributed in long strips of the coastal belt of the Tyrrhenian sea and Adriatic sea, in the coastal belt of Apulia, Basilicata and Sardinia and in wide areas of Sicily. It is not possible to suggest general actions to combat soil salinization because we must take into consideration that in the relationship soil-water two different quality concept interact: one linked to the soils, the other to the waters.

Key-words: soil quality, saline waters, soil-water relations.

* Autore corrispondente: tel: +39 091 6650247; fax: +39 091 6650229. Indirizzo e-mail: dazzi@unipa.it.

1. Introduzione

Nel suo libro-cult *Lo zen e l'arte della manutenzione della motocicletta* Robert Pirsig (1974), scrive che «il mondo è composto da tre elementi: mente, materia e qualità», sostiene che «la qualità che può essere definita non è la qualità assoluta» e afferma che «il più immediato equivalente intellettuale della qualità pura è la reazione di un organismo al proprio ambiente».

Se consideriamo i suoli come degli “organismi viventi” poiché essendo dei sistemi aperti evolvono in sintonia con la seconda legge della termodinamica (come tutti gli organismi viventi), un’espressione che ne definisca la qualità deve tenere conto della «reazione degli organismi suolo all’ambiente» cioè a tutti quegli eventi che ne possono alterare l’equilibrio dinamico.

È intuitivo che il considerare un evento a carico di un suolo come azione di disturbo delle sue qualità dipende, non solo dall’origine dello stesso (che può essere naturale o antropica) ma, anche, dalla scala spaziale che si considera e dal tipo, intensità e durata dell’evento. Così, la formazione di un canalicolo in un suolo da parte di un nematode è una azione naturale che è da definire di disturbo se valutata a scala di aggregato ma che rientra nella normalità del sistema se considerata a scala di ecotessera (Seybold et al., 1999).

Se dobbiamo rifarci a quelle azioni di disturbo che ne causano un significativo cambiamento dal modello normale di funzionamento, è ovvio che dobbiamo considerare i suoli sia nella loro interezza che come elementi del paesaggio. Allora non sono tanto le azioni di disturbo naturali che condizionano le qualità dei suoli, ma quelle che derivano dalle diverse attività dell’uomo e che comportano una riduzione parziale o totale delle funzioni dei suoli o, più chiaramente, delle loro capacità di produrre, in quantità e qualità, beni e servizi.

Se indichiamo con Q_s le qualità di un suolo, con S_n la sua condizione naturale prima di un evento di disturbo, con S_f il suo rapporto di formazione/evoluzione, con S_t la sua capacità tampone (fisica, chimica e biologica), in modo meramente speculativo, possiamo esprimere le sue qualità complessive con la seguente equazione:

$$Q_s = S_n + \int_0^t (S_f + S_t) dt$$

Nel tempo (dt), ad inficiare le qualità dei suoli sono quindi i disturbi antropici che agi-

scono su S_f e su S_t . Se le azioni antropiche di disturbo sono tali da infliggere “ferite lievi” all’essere vivente suolo, esso si riprenderà in un tempo dipendente dalla sua capacità di riorganizzarsi in equilibrio con l’ambiente per riespletare le sue funzioni. Se le azioni antropiche di disturbo sono tali da inficiare di molto o totalmente le funzioni del suolo, questo si rigenererà rispettivamente in un periodo che supera di gran lunga la scala temporale umana, ovvero sarà perduto per sempre (Seybold et al., 1999).

Nei confronti di quelle azioni di disturbo determinate dall’irrigazione con acque saline, le risposte dei suoli e quindi le espressioni di qualità, vanno considerate non solo in relazione al tipo e alla quantità dei sali presenti nelle acque ma, anche in relazione alla variabilità che caratterizza l’universo pedologico.

2. La salinizzazione dei suoli indotta dall’attività antropica

Fra le emergenze ambientali direttamente legate alla salinità dei suoli, assumono un rilievo particolare, per via della loro pericolosità, i processi di salinizzazione secondaria dei suoli indotti dall’attività antropica che rivestono una importanza, scientifica e pratica, che cresce di anno in anno.

Questi processi non sono nuovi nella storia del mondo. Il declino della civiltà mesopotamica (4-5.000 a.C.) viene attribuito dagli storici, anche alla salinizzazione dei suoli conseguente allo sviluppo della pratica irrigua. Il declino di civiltà più recenti, come quella india della bassa valle del Viru in Perù, o della civiltà Harappa delle pianure dell’Indo, fra India e Pakistan o degli Hohokam della valle del Salt River in Arizona, sono da attribuire anche a processi di salinizzazione secondaria dei suoli (Tanji, 1990).

Nonostante le esperienze negative, la salinizzazione delle aree irrigue, e talora anche di quelle circostanti, non diminuisce ma, al contrario, aumenta (Szabolcs, 1994) e gli effetti sfavorevoli che si determinano sull’ecosistema suolo, non sono uniformemente distribuiti nelle aree irrigue del mondo: in alcuni Paesi sono relativamente insignificanti, in altri assumono proporzioni inimmaginabili come ad esempio in Pakistan ove su 16 milioni di ettari irrigui, le aree salinizzate ammontano a circa 2,4 milioni di ettari o come in tutte le aree irrigue alluvio-

nali del Perù ove i caratteri di salinizzazione ed alcalizzazione secondaria sono molto pronunciati (Szabolcs, 1994).

Almeno in 75 Paesi del mondo vi sono gravi problemi di salinizzazione secondaria dei suoli (Goudie, 1990) e nulla fa presagire che nel futuro la situazione migliori. Stime proiettate al 2020 sullo sviluppo dell'irrigazione e della conseguente salinizzazione secondaria (Szabolcs, 1998) indicano non solo che gli andamenti nell'incremento delle aree irrigue e delle aree salinizzate sono quasi paralleli ma, anche che i territori con salinizzazione secondaria sono più estesi dei territori irrigui. Ciò avviene sia perché nei primi sono compresi anche i territori affetti da vecchi processi di salinizzazione, sia perché la salinizzazione secondaria influenza, in genere, una superficie maggiore rispetto a quella irrigua (Szabolcs, 1998).

Particolarmente soggetti ai problemi della salinizzazione secondaria, sono i suoli dei Paesi che si affacciano sul bacino del Mediterraneo, in particolare laddove il clima è tendenzialmente caldo-arido. In questi ambienti, infatti, il ricorso all'irrigazione consente di ridurre i rischi legati ai deficit di umidità e di stabilizzare le produzioni e, fatto oltremodo positivo, di ampliare la gamma di scelta delle coltivazioni.

Nelle ultime decadi le aree irrigue nei Paesi del bacino del Mediterraneo hanno subito un incremento stimato intorno al 20% (Pla Sentis, 1996). Queste sono di solito localizzate in prossimità di zone ad alta concentrazione urbana ed industriale, ove si consuma gran parte dell'acqua di buona qualità. Ne consegue che, per scopi irrigui, si ricorre ad acque di scarsa qualità (principalmente saline, di reflui urbani o di effluenti industriali). A ciò si aggiunga il sovrasfruttamento delle falde lungo le pianure costiere, che conduce frequentemente ad intrusione nell'acquifero di acque marine ed anche l'eccessivo ricorso a fertilizzanti e pesticidi che, usati in grande quantità nell'agricoltura irrigua, possono contaminare le acque superficiali o di falda impiegate per scopi agricoli (e anche civili).

Questi problemi sono destinati ad aggravarsi per effetto dei cambiamenti climatici globali previsti per il prossimo futuro. Si specula, che nell'Europa mediterranea tali cambiamenti condurrebbero ad un incremento dell'indice di aridità che, influenzando il regime di umidità ed il bilancio salino dei suoli, finirebbero col determina-

re una minore lisciviazione ed una maggiore salinizzazione, fino a raddoppiare, nei prossimi 40 anni, le aree affette da salinità (Szabolcs, 1996).

Previsioni basate su modelli generali di circolazione atmosferica (Barrow, 1993), ipotizzano per la regione mediterranea aumenti di temperatura da 0,5 a 3,5 °C entro il 2075, e un decremento nelle precipitazioni. Con tali variazioni di pioggia e temperatura, l'indice di aridità secondo Lang (P/T = totale annuo di pioggia in mm/temperatura media annua in °C) nei diversi paesi del bacino del mediterraneo diminuirebbe e, di conseguenza, aumenterebbe il rischio di salinizzazione (Szabolcs, 1996).

3. Aspetti generali delle relazioni acqua/ suolo

L'irrigazione, come è noto, consiste nell'apporto artificiale di acqua al suolo nei periodi dell'anno in cui vi è un deficit idrico. Tale semplice pratica continuata nel tempo, anche se condotta con acque di buona qualità, provoca mutamenti più o meno importanti, oltre che nelle caratteristiche chimiche, fisiche, idrologiche e biologiche, anche nell'assetto morfologico dei suoli e dell'ambiente circostante (Fierotti et al., 1999). Dall'interazione fra acqua e suolo, entrambi risultano profondamente modificati: il suolo modifica l'acqua (tabella 1) e l'acqua modifica il suolo (tabella 2).

Tabella 1. Come il suolo modifica le acque.

Table 1. The way in which the soil changes the water features.

I principali processi nel suolo, responsabili di modificazioni nella qualità delle acque sono:

- *l'erosione* che determina trasporto di sedimenti disciolti e sospesi nelle acque di ruscellamento;
- *la lisciviazione* che determina movimento di elementi nutritivi, prodotti chimici e sostanza organica solubile nelle acque di percolazione in funzione anche delle colture presenti;
- *il flusso di acqua* nei macropori e nelle crepaccature che determina il rapido trasporto dell'acqua e degli inquinanti dalla superficie al sottosuolo e nel sistema di drenaggio;
- *l'estrazione idrica e di ioni* da parte delle piante che possono cambiare la concentrazione e la qualità dei sali presenti nell'acqua (Amato, 2004);
- *la mineralizzazione* accelerata della sostanza organica che determina il passaggio in soluzione di composti facilmente trasportabili dall'acqua (Lal e Stewart, 1994).

Tabella 2. Come l'acqua modifica il suolo.

Table 2. The way in which the water changes the soil features.

L'intensità dei mutamenti determinati dalle acque nel suolo dipende da:

- *natura del suolo*, in particolare granulometria e aggregazione; i più sensibili alla salinità sono i suoli argillosi o tendenzialmente tali in cui il continuo apporto di acqua provoca profondi cambiamenti nello stato strutturale oltre che nella composizione chimica e fisica. Meno importanti sono i mutamenti che si verificano nei suoli a tessitura sabbiosa, dove, invece, sono molto attivi i movimenti di lisciviazione;
- *tecniche di coltivazione* che condotte in uno stato di umidità del suolo diverso da quello usuale, possono dare origine a fenomeni più o meno gravi di compattamento degli orizzonti superiori del suolo e di alterazione della morfologia superficiale con conseguente accentuazione dei fenomeni di ristagno idrico;
- *metodi di irrigazione* che se applicati in modo irrazionale, come purtroppo accade di frequente, provocano la distruzione degli elementi strutturali superficiali e il conseguente riempimento dei micro e macropori;
- *qualità delle acque*;
- *presenza di colture* con diverse esigenze idriche;
- *movimenti dell'acqua* che, in regime irriguo, si ripetono con frequenze molto ravvicinate.

Prescindendo dalla qualità dell'acqua usata per scopi irrigui, sotto l'aspetto puramente pedologico, si può affermare che i suoli sottoposti ad irrigazione, pure se in tempi differenti, si comportano alla stregua di un nuovo substrato, su cui si svolgono nuovi processi fisici, chimici e biologici spesso assai differenti da quelli presenti negli stessi tipi di suolo a regime asciutto

Tabella 3. Principali effetti che l'acqua provoca sul suolo in chiave pedogenetica.

Table 3. Main effects of the water on soils from a pedogenetic point of view.

- *cambiamento del pedoclima* cioè dei regimi di umidità e di temperatura del suolo;
- *possibili fenomeni erosivi* in funzione principalmente del metodo irriguo, della pendenza, e della stabilità strutturale del suolo;
- *possibili fenomeni di eluviazione* e dispersione dei colloidii;
- *processi legati alla lisciviazione* con formazione di orizzonti di accumulo, argillici, molto spesso arricchiti di sali solubili e/o di carbonati secondari;
- *effetti sulla tessitura*;
- *apporto* di nuovi materiali contenuti nelle acque (sali o altro).

e che determinano nuovi indirizzi evolutivi e, di conseguenza, lo sviluppo nel tempo di tipologie di suolo nuove e diverse da quelle dalle quali derivano (tabella 3).

Ma, quando per scopi irrigui si usano acque saline, accanto ai su citati aspetti, si determinano processi di degradazione la cui intensità è funzione oltre che della diversità pedologica, della qualità e quantità di sali disciolti e di alcuni altri fattori ambientali, primi fra tutti quelli climatici.

Nei suoli salini e nelle condizioni tipiche di semi-aridità dell'ambiente mediterraneo, ad un periodo estivo, caldo e siccitoso durante il quale è imperativo ricorrere all'esercizio irriguo spesso utilizzando acque anomale, segue una stagione fredda e piovosa in cui si attivano importanti processi di lisciviazione che abbassano i valori della conducibilità elettrica, mentre rimangono quasi inalterati quelli relativi al sodio di scambio come conseguenza dell'accentuata concentrazione raggiunta dall'acqua del suolo.

Dopo ogni intervento irriguo con acque saline, si raggiunge un certo equilibrio fra il sodio scambiabile del suolo e il sodio presente nell'acqua di irrigazione che è soggetto a rompersi rapidamente sotto l'azione della temperatura (Letey, 1994). Infatti l'evaporazione dell'acqua del suolo comporta un notevole aumento della concentrazione salina che compromette seriamente il normale svolgimento dell'attività vegetativa.

Durante la stagione irrigua, la notevole quantità di sali solubili e le quantità di sodio scambiabile, fanno sì che le argille si trovino allo stato flocculato, il che assicura un buono stato strutturale e la libera circolazione dell'aria e dell'acqua lungo il profilo del suolo. Tuttavia, essendo gli aggregati strutturali fortemente instabili di fronte all'azione disgregante dell'acqua, già con le prime piogge tendono a disperdersi provocando la chiusura dei macro e micropori e il passaggio dello stato di aggregazione del suolo verso forme massive che riducono la conduttività idraulica e la naturale capacità del suolo di smaltire le acque in eccesso (Aringhieri, 1997).

Nei suoli dell'ambiente mediterraneo irrigati con acque saline, quindi, lo stato di aggregazione dei suoli è soggetto a cambiamenti stagionali, passando da forme ottimali, granulari o poliedriche angolari e sub angolari a forme mas-

Tabella 4. Definizioni dell'orizzonte salico.

Table 4. Definitions of the salic horizon.

Sistema di riferimento	Definizione
Soil Taxonomy – Soil Survey Staff, 2003	Orizzonte di accumulo di sali più solubili in acqua fredda del gesso; è spesso almeno 15 cm, e ha, per 90 giorni consecutivi, in anni normali, una conducibilità elettrica (CE) dell'estratto saturo almeno di 30 dS m ⁻¹ ; il prodotto dello spessore in cm per la conducibilità (in dS m ⁻¹) deve essere almeno pari a 900.
FAO Rev. Legend FAO-UNESCO, 1990 (proprietà saliche)	Conducibilità elettrica dell'estratto saturo nei primi 30 cm > 15 dS m ⁻¹ per qualche periodo dell'anno oppure > 4 dS m ⁻¹ se il pH (H ₂ O 1:1) > 8,5.
World Reference Base IUSS-ISRIC, 1998	Orizzonte, di superficie o sottosuperficiale, con un arricchimento secondario in sali prontamente solubili (cioè più solubili del gesso); deve mostrare per tutto il suo spessore: una conducibilità elettrica (CE) dell'estratto saturo maggiore di 15 dS m ⁻¹ a 25 °C in qualche periodo dell'anno, oppure, una CE maggiore di 8 dS m ⁻¹ a 25 °C se il pH (in H ₂ O) dell'estratto saturo è maggiore di 8,5 (per suoli alcalini ricchi in carbonati) o minore di 3,5 (per suoli acidi ricchi in solfati); almeno l'1% di sali; il prodotto dello spessore in cm per la percentuale di sali almeno pari a 60, e lo spessore deve essere almeno di 15 cm.
Referentiel Pedologique AFES, 1995	Orizzonte caratterizzato da un accumulo marcato di sali più solubili del gesso: se arricchito in cloruri e/o solfati o nitrati, il valore misurato sull'estratto saturo del pH è < 8,5 e della CE, in un momento dell'anno, è ≥ 15 dS m ⁻¹ ; se arricchito in carbonati e bicarbonati, il valore misurato sull'estratto saturo del pH è > 8,5 e della CE, in un momento dell'anno, è ≥ 8 dS m ⁻¹ .

sive altamente indesiderabili e, nel caso dei suoli con elevato contenuto di sodio, la conseguente formazione di argille sodiche e la distruzione degli aggregati, dà origine a forme strutturali colonnari grossolane e massive, tipiche di particolari orizzonti del suolo definiti “natrici”.

Fino a che le quantità di sodio apportate e quelle asportate si equivalgono, si mantiene un certo equilibrio; questo si rompe immediatamente quando, a causa di processi di lisciviazione attivati dalle piogge autunnali e invernali, le asportazioni superano gli apporti. In queste condizioni una parte del sodio scambiabile si idrolizza formando idrato di sodio che reagisce immediatamente con gli ioni bicarbonici presenti per formare carbonato di sodio e il suolo acquista forti caratteri di alcalinità.

Sotto l'influenza di notevoli quantità di sodio, la struttura si mantiene sempre allo stato massivo, mentre nei suoli salino-sodici, rimane allo stato disperso durante il periodo umido per poi compattarsi durante la stagione secca dando luogo ad un sistema fessurato poligonale (Aubert, 1976).

L'intensità di tale dispersione dipende dalla tessitura del suolo e dalla sua mineralogia. Suoli con alta percentuale di argille montmorillonitiche sono molto sensibili all'azione del sodio mentre le argille caolinitiche sono meno sensibili (Wagenet, 1984).

Il processo della sodicizzazione è più grave di quello della salinizzazione e nei casi limite gli effetti sui suoli sono irreversibili. Le due forme di salinità spesso coesistono: i sali solubili, accumulandosi, possono dare origine ad un particolare orizzonte diagnostico, chiamato orizzonte “salico” (tabella 4), mentre l'accumulo di sodio sul complesso di scambio è responsabile della formazione di un altro particolare orizzonte diagnostico, chiamato orizzonte “natrico” (tabella 5).

Nei suoli ad elevato contenuto di carbonati, il movimento discendente può dare origine a processi di decarbonatazione e carbonatazione secondaria, con formazione di un orizzonte definito “calcico” (tabella 6).

4. La situazione italiana

I processi di salinizzazione secondaria dei suoli determinati dall'irrigazione con acque saline, sono evidenti anche nel nostro Paese ove la situazione al riguardo non si presenta certo rosea. Ciò è particolarmente vero nelle aree centro-meridionali ed insulari. Anche se nel nostro Paese, ancora oggi, non è disponibile una cartografia di dettaglio che dia conto delle caratteristiche e della distribuzione dei suoli salini,

Tabella 5. Definizioni dell'orizzonte natrico.

Table 5. Definitions of the natric horizon.

Sistema di riferimento	Definizione
Soil Taxonomy - Soil Survey Staff, 2003	L'orizzonte natrico ha, oltre le proprietà dell'orizzonte argilloso: struttura a colonne, o prismi, in alcune parti (generalmente nella parte superiore) che possono rompersi a blocchi; un ESP ≥ 15 , o un SAR ≥ 13 nei suoi primi 40 cm; (magnesio sc. + sodio sc.) > (calcio sc. + acidità sc.) a pH 8,2 in uno o più orizzonti nei suoi primi 40 cm.
FAO Rev. Legend FAO-UNESCO, 1990	L'orizzonte natrico ha, oltre le proprietà dell'orizzonte argilloso: struttura a colonne, o prismi, in alcune parti dell'orizzonte B; un ESP ≥ 15 nei suoi primi 40 cm; (magnesio sc. + sodio sc.) > (calcio sc. + acidità sc.) a pH 8,2 nei suoi primi 40 cm.
World Reference Base IUSS-ISRIC, 1998	Orizzonte sottosuperficiale corrispondente alla definizione di orizzonte argilloso, con struttura prismatica o colonnare; ESP > 15, con (magnesio sc. + sodio sc.) > (calcio sc. + acidità sc.); spessore di almeno un decimo della somma degli orizzonti soprastanti e almeno di 7,5 cm;
Referentiel Pedologique AFES, 1995	Orizzonte caratterizzato da una struttura degradata e compatta determinata da un tenore in sodio di scambio almeno del 15% o anche minore in rapporto alla natura delle argille presenti.

una recente indagine conoscitiva (Dazzi et al., 2005) ha messo in evidenza come questi risultati prevalentemente distribuiti nella bassa padana, in lunghi tratti del litorale tirrenico e adriatico, nella fascia costiera della Puglia, della Basilicata e della Sardegna e in ampi tratti della Sicilia (figura 1).

Probabilmente è in Sicilia che il problema della salinizzazione secondaria dei suoli per irrigazione è maggiormente acuto, e ciò è da mettere in relazione non solo con la natura dei suoli presenti ma anche con la qualità delle acque disponibili per l'irrigazione. Uno studio abbastanza recente (Fierotti et al., 1998) condotto allo scopo di monitorare la qualità delle acque di 16 serbatoi artificiali (7 dislocati nella Sicilia occidentale, 5 nella Sicilia centro-meridionale e 4

nella Sicilia orientale) ha permesso di accertare come, queste acque, evidenzino valori più o meno elevati di salinità anche in un periodo insolitamente piovoso quale quello durante il quale è stata condotta la ricerca (giugno 1995 - giugno 1996).

Per essi, più che per altri suoli, è necessario tenere conto dei limiti posti dalla bassa permeabilità, dall'elevata capacità di ritenzione idrica, dalla degradabilità della struttura, dal tipo di profilo del suolo e, in ultimo ma non per ultimo, dal tipo di argille presenti: ove predominano le argille smectitiche, infatti, la struttura del suolo mostra gravi problemi di deterioramento già con acque che mostrano valori del rapporto di assorbimento del sodio (adjRNA) superiori a 9; laddove prevalgono le illiti e le

Tabella 6. Definizioni dell'orizzonte calcico.

Table 6. Definitions of the calcic horizon.

Sistema di riferimento	Definizione
Soil Taxonomy - Soil Survey Staff, 2003	L'orizzonte calcico è un orizzonte illuviale in cui carbonato di calcio secondario o altri carbonati si sono accumulati in modo significativo; è spesso almeno 15 cm, non è cementato (\rightarrow petrocalcico), ha più del 15 % di CaCO_3 .
FAO Rev. Legend FAO-UNESCO 1990	Orizzonte con accumulo di carbonato di calcio secondario, spesso più di 15 cm, che contiene il 15% o più di CaCO_3 e almeno il 5% in più rispetto al contenuto dell'orizzonte C.
World Reference Base IUSS-ISRIC, 1998	Orizzonte con accumulo di CaCO_3 secondario, sia in forma diffusa ($\varnothing < 1$ mm) che in forma di concrezioni; ha più del 15% di CaCO_3 equivalente (se è > 50% si parla di ipercalcico); è spesso più di 15 cm.
Referentiel Pedologique AFES, 1995	Orizzonte con accumulo di carbonato di calcio secondario, con forme di concentrazione non indurite, costituenti più del 15% dell'orizzonte in volume.



Figura 1. Le aree evidenziate in nero indicano la distribuzione dei suoli salini in Italia. Per la Sicilia, come descritto nel testo, sono compresi anche i suoli gessosi (da Dazzi 2005).

Figure 1. Black areas indicate the distribution of saline soils in Italy. In Sicily, as reported in the work, they include also the gypsiferous soils (from Dazzi, 2005).

vermiculiti la struttura si degrada con valori di adjRNA superiori a 16 mentre i suoli caolinitici o ricchi in sesquiossidi cominciano a mostrare un deterioramento della struttura per valori di adjRNA superiori a 26. Ne consegue che il processo della sodicizzazione, soprattutto in questi ambienti, è più grave di quello della salinizzazione. Spesso, tuttavia, le due forme di salinità coesistono, come accade per alcuni suoli della piana di Licata che sono divenuti al contempo salini (con orizzonte salico) ed alcalini (con orizzonte natrico) nell'arco di una sola stagione irrigua (Indorante et al., 2001).

Attualmente in Sicilia, circa il 10% della superficie totale, cioè grossomodo 250.000 ettari, è interessata da suoli affetti da salinità (Dazzi, 1999). La loro distribuzione è dovuta in parte alla presenza della Serie Gessoso-Solfifera, in parte è indotta dall'irrigazione; i primi sono particolarmente presenti nelle province di Caltanissetta e di Agrigento, cioè nella zona centrale e meridionale dell'isola, gli altri si rinvengono prevalentemente nella fascia costiera meri-

dionale dell'isola, ove la pratica irrigua continuata nel tempo ha determinato e determina, accumulo di sali solubili nel suolo. Sono da segnalare anche suoli affetti da salinità per cause naturali, legate alla presenza di substrati argillosi di origine marina.

5. Conclusioni

L'Accademia Nazionale delle Scienze degli Stati Uniti d'America considera la salinizzazione del suolo come uno dei principali processi che contribuiscono alla desertificazione dei suoli a livello planetario (Francois e Maas, 1994). Questo processo, che con sempre maggiore frequenza è di origine antropica, rappresenta un problema particolarmente acuto ed in continua crescita nelle regioni del bacino del Mediterraneo ed ha la tendenza ad aumentare sempre di più, in virtù della necessità di ricorrere all'irrigazione (Pla Sentis, 1996).

I problemi posti dai suoli salini per il loro miglioramento e riscatto all'agricoltura, sono quanto mai complessi e divengono anche più complicati per il fatto che nelle relazioni acqua-suolo interagiscono due diverse espressioni di qualità: quella relativa all'acqua e quella relativa al suolo, che si influenzano a vicenda. Anche con acque saline, l'irrigazione determina una serie di mutamenti nel suolo, la cui intensità dipende da alcuni importanti parametri che ne sono indicatori di qualità, primi fra tutti, struttura, capacità di ritenzione idrica, condizioni di drenaggio, permeabilità.

Un metodo unico, sempre valido, universalmente applicabile per il controllo della salinità non esiste. Di volta in volta, occorre ricorrere alla combinazione di diverse pratiche che devono integrarsi fra loro, ed essere scelte secondo i casi, tenendo sempre presente che *le azioni volte alla prevenzione dei processi di salinizzazione devono avere la priorità sulle azioni di recupero*, poiché la salinità costituisce sostanzialmente un fattore di stress che influenza seriamente i parametri delle qualità dei suoli, e che finisce per influenzare la stessa qualità della vita dell'uomo se è vero, come è vero, che *quanto bassa è la qualità del Suolo, tanto bassa è la qualità della vita dell'Uomo* (Dazzi, 2002).

L'espansione della superficie irrigua dovrà tenere conto della disponibilità di risorse idri-

che, della competizione esistente fra usi alternativi dell'acqua e della qualità di quest'ultima, oltre che delle condizioni ambientali, climatiche, pedologiche e socio-economiche (Hillel e Vlek, 2005).

Il problema interessa anche i paesi industrializzati dove la competizione tra i diversi settori per l'uso delle acque, ha indirizzato verso il reperimento di risorse idriche alternative, quali acque saline o reflue urbane.

In queste condizioni è imperativo il ricorso a precise strategie dirette a migliorare la gestione delle risorse idriche, aumentarne l'efficienza d'uso, evitare i pericoli di inquinamento dei suoli e delle falde idriche, razionalizzare l'uso irriguo delle acque anomale, i cui effetti sul suolo e sulle colture possono risultare estremamente gravi, coniugando l'esigenza prioritaria di assicurare la nutrizione umana, con quella altrettanto importante di salvaguardare le risorse ambientali, prime fra tutte il suolo e l'acqua.

Bibliografia

- AFES 1995. Référentiel Pédologique. INRA Editions, Paris, 203 pp.
- Amato M. 2004. Le relazioni fra piante ed acqua del terreno. In: Amato M., Migliozi A., Mazzoleni S.: Il sistema suolo-vegetazione, 137-150. Liguori Editore, Napoli.
- Aringhieri R. 1997. Some aspects of the effect of salts on soil structure. In: Leone A., Steduto P. (eds.): First Trans-National Meeting: Salinity as a limiting factor for agricultural productivity in the Mediterranean basin, 141-152. CIHEAM, Bari.
- Aubert G. 1976. La morphologie des sols affectés per le sel. FAO Soils Bulletin, 31:187-194.
- Barrow E.M. 1993. Scenarios of climate change for the european community. Eur. J. Agron., 2:247-260.
- Dazzi C. 1999. Suoli salini e problematiche di gestione. AGS, Palermo, 1-18.
- Dazzi C. 2002. Salinità e Qualità del Suolo. Atti del Convegno del Cinquantenario SISS "L'Emergenza Suolo". Boll. SISS, Vol. 51: 81-104.
- Dazzi C. 2005. La salinizzazione del suolo. Libro bianco sullo stato del suolo in Italia. APAT, Roma (in stampa).
- Dazzi C., Fierotti G. 1996. Problems and management of salt-affected soils in Sicily. In: Misopolinos N., Szabolcs I. (eds.): Soil salinization and alkalization in Europe, 129-137. European Society for Soil Conservation. Thessaloniki, Greece.
- FAO-UNESCO 1990. Soil map of the world – Revised legend. World Soil Resource, 60. Roma, 119 pp.
- Fierotti G., Dazzi C., Tusa D. 1999. Riflessi dell'irrigazione con acque saline sulla qualità dei suoli. Atti del Convegno "Le acque salmastre come risorsa idrica: limiti e prospettive", Foggia maggio 1999, 7-22.
- Fierotti G., Lombardo V., Dazzi C. 1998. Ricerche sulla qualità delle acque per uso irriguo in Sicilia: Nota I, acque di serbatoi. Atti del Convegno Nazionale "Irrigazione e Ricerca: Progressi nell'uso della risorsa acqua". Bari 1-2 ottobre, 253-259.
- Francois L.E., Maas E.V. 1994. Crop Response and Management on Salt-Affected Soils. In: Pessaraki M. (ed.): Handbok of Plant and Crop Stress. M. Dekker Inc., 697 pp.
- Goudie A.S. 1990. Soil Salinity. Causes and Controls in Techniques for Desert Reclamation, 110-111. Wiley & Sons.
- Hillel D., Vlek P. 2005. The sustainability of irrigation. Advances in Agronomy, 87:55-84.
- Indorante A., Laudicina V.A., Raimondi S., Tusa D. 2001. Evoluzione della salinità del suolo durante un biennio di osservazioni in due ambienti irrigui siciliani. Atti Convegno conclusivo Progetto POM-OTRIS, Bari, 249-262.
- IUSS – ISRIC. 1998. World Reference Base for Soil Survey, versione italiana a cura di Costantini E.A.C., Dazzi C. 1999. ISSDS, Firenze, 98 pp.
- Lal R., Stewart B.A. 1994. Soil processes and water quality. Advances in Soil Science. Lewis Publishers, 398 pp.
- Letey J. 1994. Is irrigated agriculture sustainable? In: Soil and water science: key to understanding our global environment, SSSA Special publication, 41:23-37.
- Pirsig R.M. 1974. Lo Zen e l'arte della manutenzione della motocicletta. Adelphi Edizioni, 402 pp.
- Pla Sentis I. 1996. Soil Salinization and Land Degradation. In: Soil degradation and desertification in Mediterranean environments. Rubio & Calvo eds. Geoforma Ediciones, 105-129.
- Seybold C.A., Herrick J.E., Breida J.J. 1999. Soil resilience: a fundamental component of soil quality. Soil Science, 164, 4:224-234.
- Soil Survey Staff 2003. Keys to Soil Taxonomy, 9th ed. USDA – NRCS, Washington D.C., 332 pp.
- Szabolcs I. 1994. Soils and Salinization. In: Pessaraki M. (ed.): Handbok of Plant and Crop Stress. M. Dekker Inc., 697 pp.
- Szabolcs I. 1996. An overview on soil salinity and alkalinity in Europe. Soil salinization and alkalization in Europe. In: Misopolinos N., Szabolcs I. (eds.): Soil salinization and alkalization in Europe, 1-12. European Society for Soil Conservation, Thessaloniki, Greece.
- Szabolcs I. 1998. Concepts, assessment and control of soils affected by salinization. Advances in GeoEcology, 31: 469-476.
- Tanji K.K. 1990. Agricultural Salinity Assessment and Management. ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice, n. 91. American Society of Civil Engineers, New York, 398 pp.
- Wagenet R.S. 1984. Salt and water movement in the soil profile. Soil salinity under irrigation, 100-114. Springer-Verlag, New York.